

15h30 Table ronde  
 Enjeux de documentation des processus de production, d'analyse et  
 interprétation des données  
 Modérateur : Anaïs Guillem  
 Intervenants : Olivier Malavergne, Elise Baillieu, Frederic Dubois



European  
 Research  
 Council

Une cathédrale de données numériques et connaissances pluridisciplinaires  
 Journées d'études du groupe de travail "données numériques" du chantier scientifique  
 Notre-Dame de Paris  
 19 – 21 juin 2024, Campus CNRS Joseph Aiguier, Marseille

Léa Drieu, « A pottery biography: considering the entire lifecycle of a pot in organic residue analysis », *ArcheoSciences*, 44-2 | 2020, 129-143.  
<https://doi.org/10.4000/archeosciences.7595>

# Enjeux de documentation des processus de production, d'analyse et interprétation des données

## Keywords:

data; documentation; processus; étude; interprétation; observation; analyses; chaîne opératoire; démarche scientifique; question de recherche

## Session abstract:

Le chantier scientifique et de restauration a regroupé une multitude d'acteurs scientifiques avec des regards convergents vers un même site, Notre-Dame de Paris. Mais cette convergence globale doit être nuancée : chaque chercheur concentre son étude à des échelles variables selon des champs thématiques disciplinaires (archéologie, simulation des structures, documentation). Cette session vise à mettre en lumière ces processus de production de connaissances, qui forment des chaînes opératoires. Le concept de chaîne opératoire vient de la discipline archéologique et peut être définie de la façon suivante : “a succession of mental operations and technical gestures, in order to satisfy a need (immediate or not), according to a preexisting project” (Perlès 1987:23). Dans le cadre du chantier de NDP, la production, l'analyse et l'interprétation des données sont considérées comme des chaînes opératoires, qui permettent de produire de nouvelles connaissances sur la cathédrale.

Les différents intervenants de cette table ronde présenteront de leur expérience, en incluant les questions de recherche, les moments clefs de leur démarche scientifique: moments d'observation, d'analyse ou d'interprétation. Il s'agit de discuter ensemble du rôle des données et des différentes représentations (modèles, simulations...), qui font le lien entre l'objet matériel et la compréhension renouvelée d'une question.

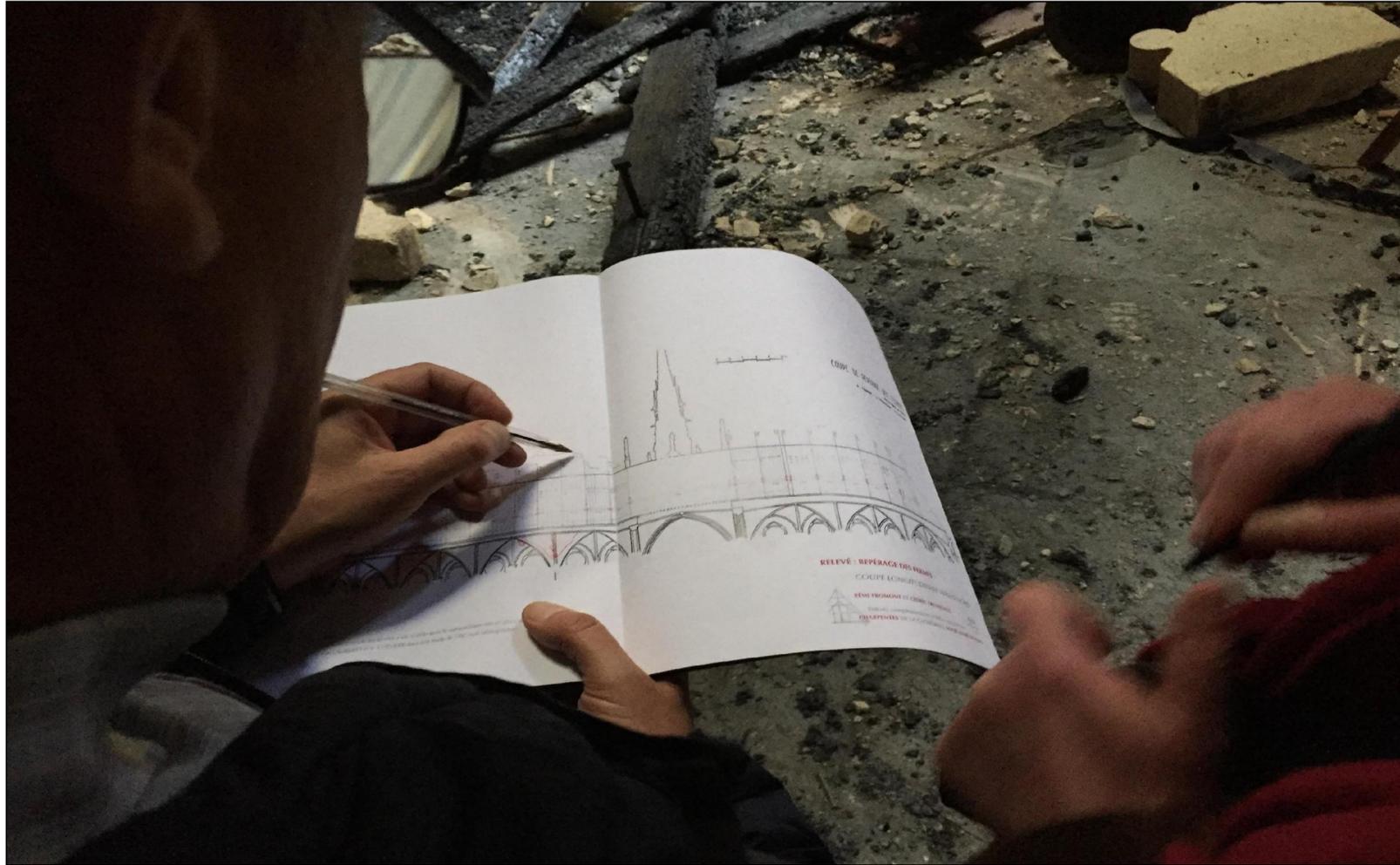
Perlès, C. (2018). Les Industries lithiques taillées de Franchthi (Argolide, Grèce), Volume 1: Présentation générale et industries Paléolithiques, Fascicle 3. Indiana University Press.

# Enjeux de documentation des processus de production, d'analyse et interprétation des données

## Tour de table des intervenants :

Pouvez-vous nous dire qui vous êtes?

- E. Baillieul
- F. Dubois
- O. Malavergne



Enjeux de documentation des processus de production, d'analyse et interprétation des données

Olivier Malavergne, LRMH



Une cathédrale de données numériques et connaissances pluridisciplinaires  
Journées d'études du groupe de travail "données numériques" du chantier scientifique  
Notre-Dame de Paris  
19 – 21 juin 2024, Campus CNRS Joseph Aiguier, Marseille

# Enjeux de documentation des processus de production, d'analyse et interprétation des données

Elise BAILLIEUL  
elise.baillieul@univ-lille.fr

 Université  
de Lille

**IRHiS**  
Institut de Recherches  
Historiques du Septentrion  
UMR 8529, UNIV. LILLE · CNRS

# F. Dubois

## GT Structure

Les partenaires :



# Enjeux de documentation des processus de production, d'analyse et interprétation des données

## Question 1 :

- Présenter le champ thématique (archéologie, simulation des structures, documentation des activités) et la spécificité de votre objet d'étude.
- Comment formuleriez-vous les questions de recherche qui ont guidé votre travail de recherche sur NDP? Qu'est-ce que vous avez essayé de comprendre de nouveau?
- Est-ce que le cadre du chantier NDP vous a permis de renouveler certaines problématiques de recherche de votre champ disciplinaire (comment, pourquoi?)

# O. Malavergne : Comment traiter le tri des vestiges ?

La démarche documentaire

Levée des godets

## Le tri et le suivi photographique

Les travaux de suivi ont été initiés dès le début de la présence des scientifiques sur le site de la cathédrale.

Regroupement par unité de godet



Tapis de tri



Protocole d'évacuation des débris tombés dans le transept et la nef de la cathédrale Notre-Dame de Paris

À la suite de la demande de la maîtrise d'œuvre et avec l'accord de la maîtrise d'ouvrage, le Laboratoire de recherche des monuments historiques (pôles scientifiques Métal, Microbiologie, Pierre et Vitrail) s'est rendu sur les lieux du sinistre, le jeudi 25 avril 2019, suivi le lendemain par le Service régional de l'Archéologie de la DRAC d'Île-de-France. Le LRMH a alors immédiatement établi un processus d'urgence d'évacuation, de tri et d'indexation des items tombés au sol, validé par le SRA. L'objectif était de proposer un protocole de prélèvement, d'échantillonnage et de conservation compatible avec les impératifs de mise en sécurité de l'édifice, les prélèvements à réaliser par le laboratoire central de la police judiciaire, tout en prenant en compte les enjeux à la fois patrimoniaux et scientifiques liés à ces matériaux provenant de la cathédrale médiévale et de ses modifications ultérieures. Il a été conçu dans un souci d'efficacité, de réalisme et dans le souci constant de la prise en compte des impératifs scientifiques et patrimoniaux.

Trois facteurs ont dû être pris en compte :

- le fait que tout le transept était en « Zone Police » et sous la responsabilité du laboratoire central de la police judiciaire qui a officiellement accepté la présence du LRMH, des archéologues et du protocole proposé pour cette première phase urgente d'intervention. Les intervenants se sont pliés aux horaires de présence et aux contraintes de nos collègues du ministère de l'Intérieur et aux obligations de discrétion ;
- l'impossibilité d'accéder directement, pour des raisons de sécurité des personnes, aux débris qui ne pouvaient être extraits que par des engins télécommandés ;
- l'urgence de cette première opération, tant pour le recueil des preuves par la police que pour éviter une concentration d'humidité dans les tas et le développement éventuel de micro-organismes.

Le démarrage des opérations a eu lieu dès le samedi 27 avril 2019.

Prérequis

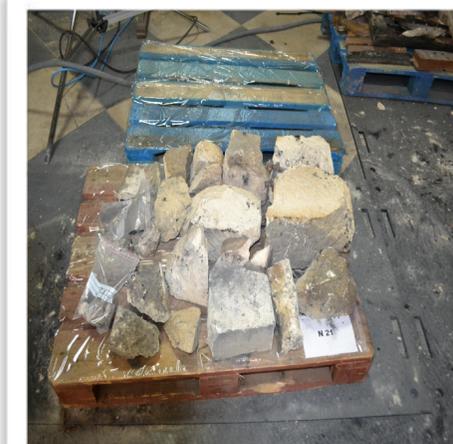
Trois zones ont été identifiées :

- le croisillon nord (« Zone Police ») où les débris sont constitués de pierres tombées de la croisée du transept et de l'effondrement d'une partie de la voûte du croisillon nord ;
- la croisée du transept (« Zone Police ») où les débris sont constitués de morceaux d'échafaudage, de poutres datant des travaux de Viollet-le-Duc, et de pierres tombées de la croisée du transept provenant de la base de la flèche ;

## La question de la volumétrie

- Volumétrie des fichiers : production massive quotidienne de photographies
- Volumétrie des vestiges : quel parti pris documentaire pour ne pas perdre d'informations

## Numérotation



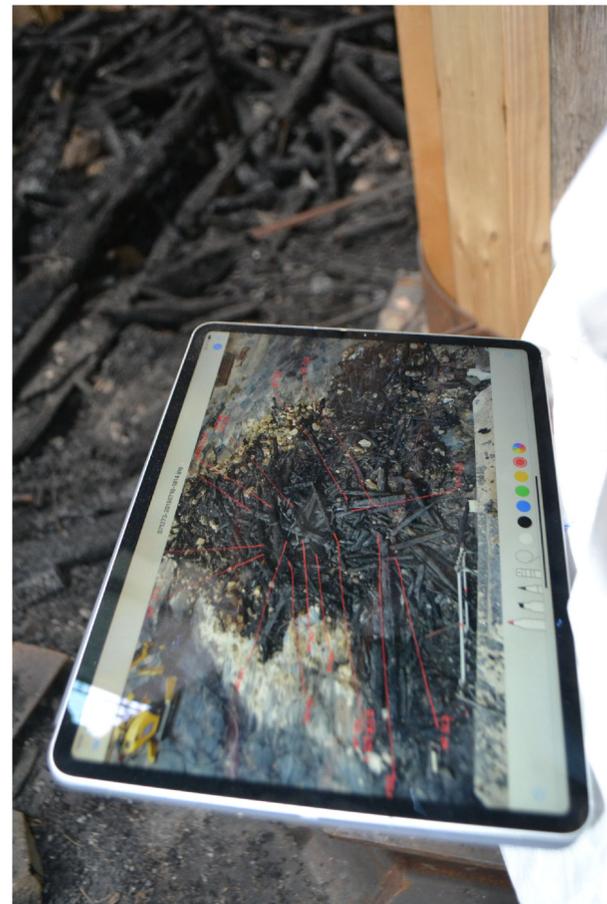
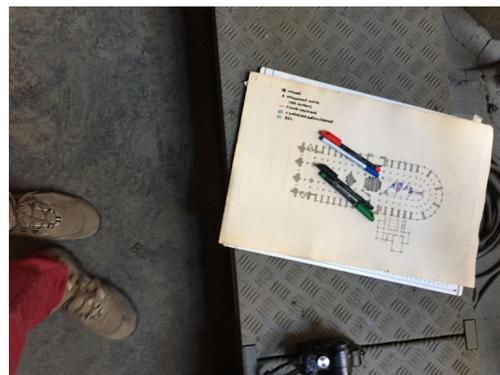
Rangement sur palette

# O. Malavergne : Comment traiter le tri des vestiges ?

Les enjeux de méthodologie

## Chantier « laboratoire » en terme de méthodologie et de pratiques, peut-il aussi servir de modèle pour gérer des contextes similaires ?

Cela permet d'illustrer une méthode de suivi des éléments d'un édifice ou d'un objet patrimonial ayant subi une destruction, en phase avec les pratiques actuelles de documentation d'un chantier de sauvetage post-catastrophe, notamment par la structuration systématique des informations associées aux données produites.



Pour la documentation au fil de l'eau, on peut formaliser l'organisation et la mise en place d'une chaîne de traitement documentaire autour de 3 missions principales qui regroupent un certain nombre de tâches et qui correspondent à ce que l'écosystème n-Dame propose aujourd'hui aux acteurs du chantier scientifique pour gérer leurs données :

- la collecte et l'intégration des données numériques (existantes et nouvelles)
- la structuration et l'enrichissement sémantique de ces données
- l'archivage pérenne et le partage

La méthodologie se base sur des principes communs, quelles que soient les données manipulées :

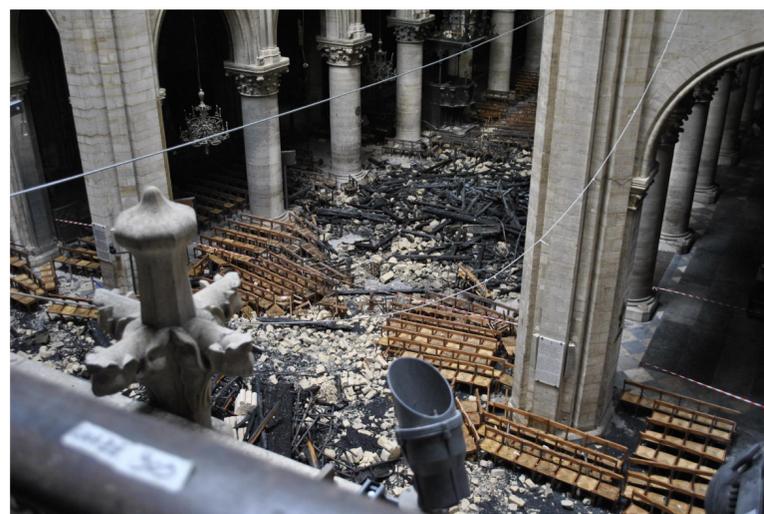
*La production des métadonnées* (interopérabilité, descripteurs etc.) : chaque fichier produit contient des informations relatives au format utilisé ainsi qu'aux conditions de sa création, ce qui constitue un ensemble de métadonnées indispensable. Cela permet d'assurer une interopérabilité entre les différents jeux de données et d'harmoniser la façon de décrire les informations.

*Un dictionnaire commun : les vocabulaires contrôlés.* L'organisation mutualisée des vocabulaires contrôlés au sein d'un même outil facilite les développements en cours pour gérer et structurer les terminologies, thésaurus, glossaires etc. qui peuvent être spécifiques à chaque métier, à chaque GT.

*La préparation des données pour la plateforme numérique.* Enfin, tout cela participe à la préparation des données issues du chantier scientifique de façon à les mettre à disposition au sein d'une plateforme numérique, et à les manipuler par la suite grâce aux outils disponibles dans l'écosystème numérique n-Dame.

Toutes les données numériques sont concernées, qu'il s'agisse de textes, d'images, d'enregistrements vidéo ou sonores, de nuages de points, de relevés laser, de maillages 3D etc.

Cette méthodologie, c'est aussi un moyen de répondre au défi du traitement documentaire massif des données, dans un contexte multidisciplinaire, mettant en oeuvre des métiers, pratiques et approches différentes, et donc aussi des rapports variés aux enjeux numériques.



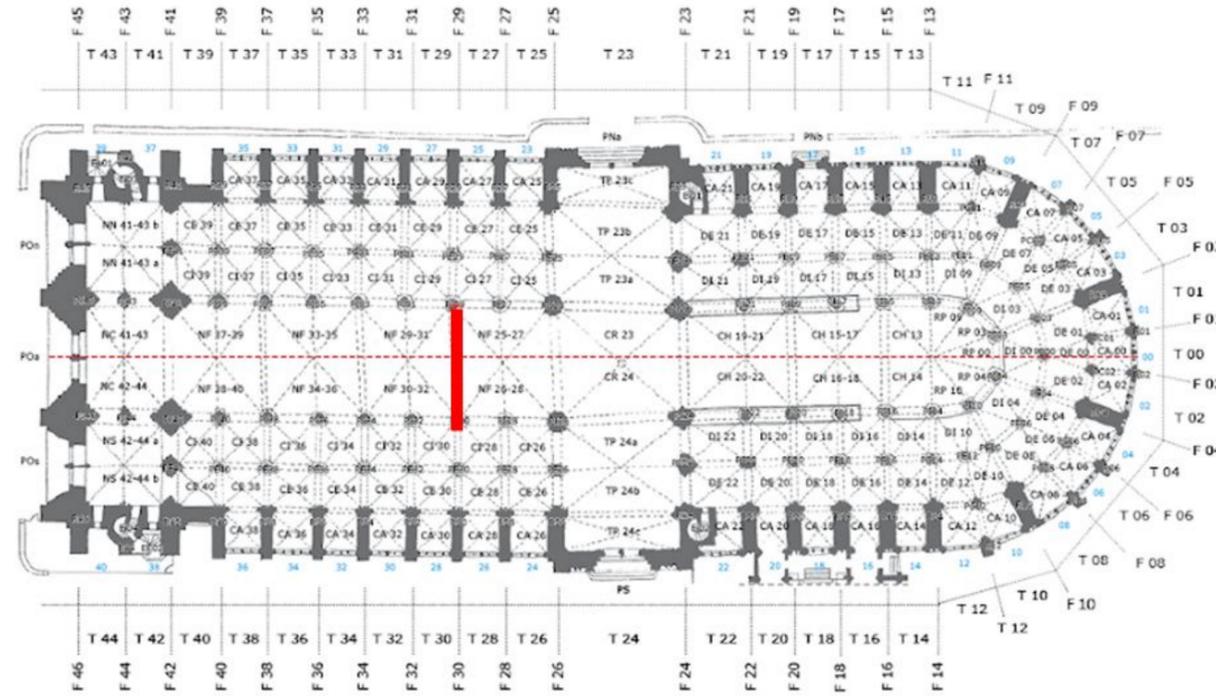
Groupe de travail **pierre et mortier** : une quinzaine de chercheurs impliqués, rattachés à une dizaine d'unités de recherche principalement en archéologie et histoire de l'art mais aussi en géologie et en génie civil.

Notre première source de documentation : le monument lui-même! Qu'il soit en élévation ou en pièces détachées.

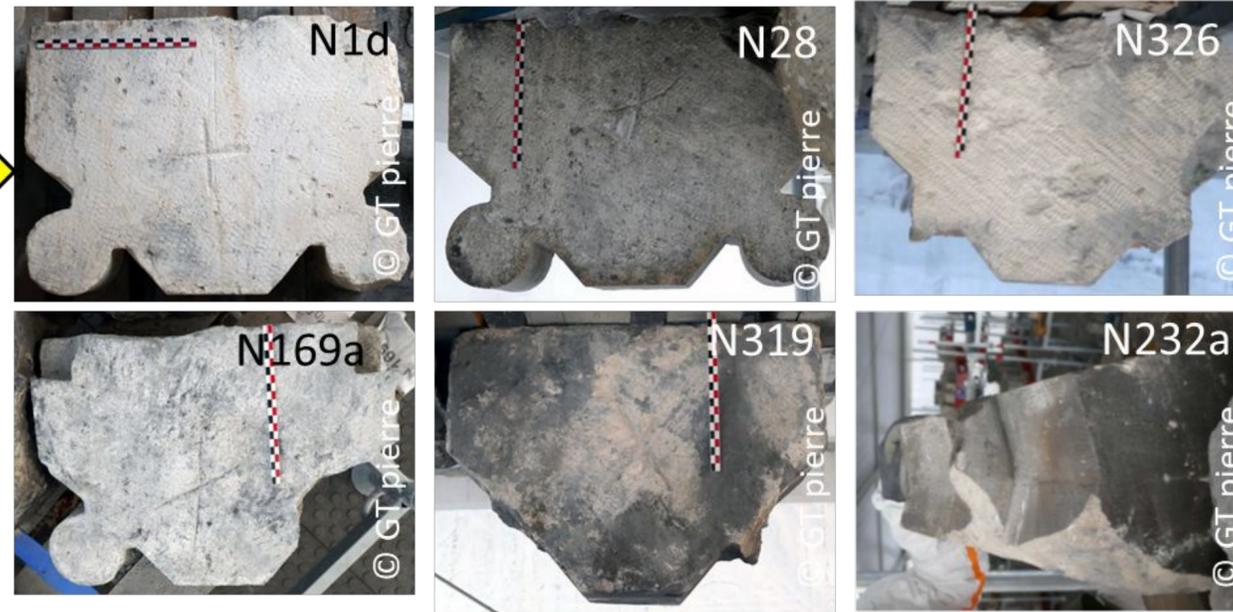
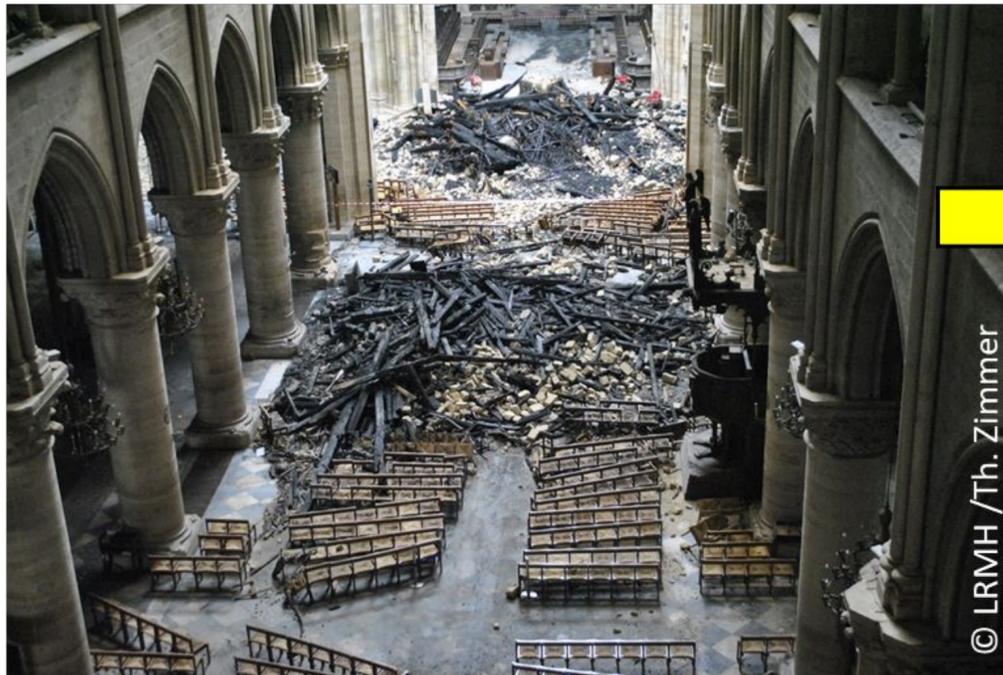


Dépôt lapidaire de l'église d'Orval (Belgique)

Dépôt lapidaire de l'église détruite d'Aizy-Jouy (France, Aisne)



Arc doubleau F29-30



# Évaluation structurale

Étude de structures maçonnées

Archives (plans, carrières, etc)

Nuages de points

Annotations

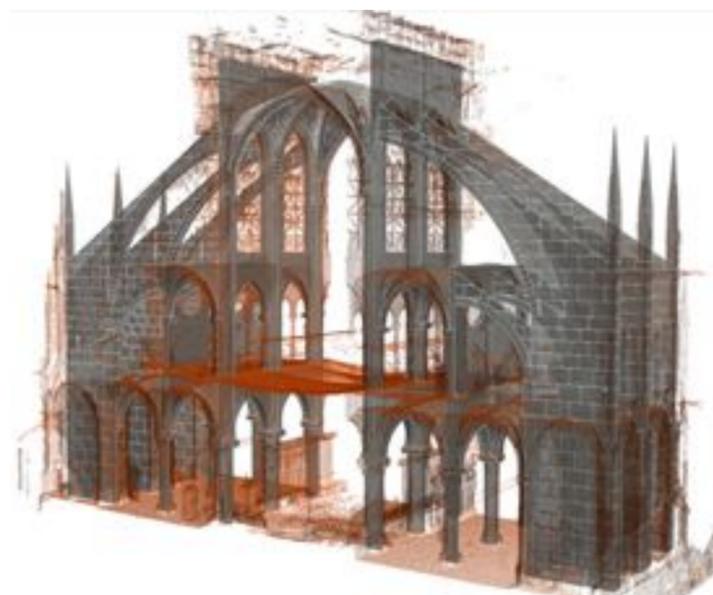
mesure/osculations

Base de données matériaux

Essais en laboratoire

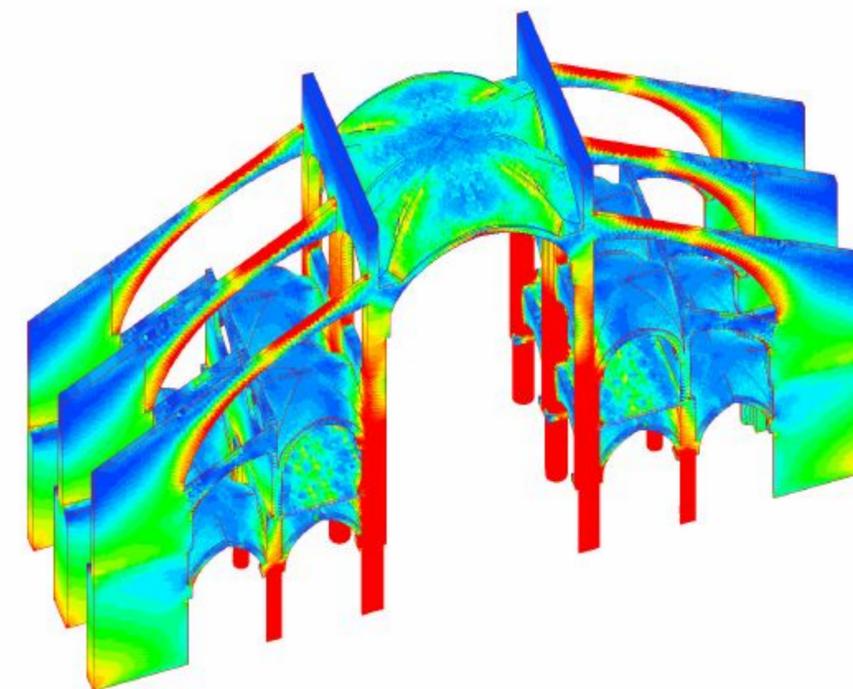
autres modèles : vent, incendie, etc

Modèle de calcul  
(FEM,DEM,CR,etc)



Etat "initial"

Chargements

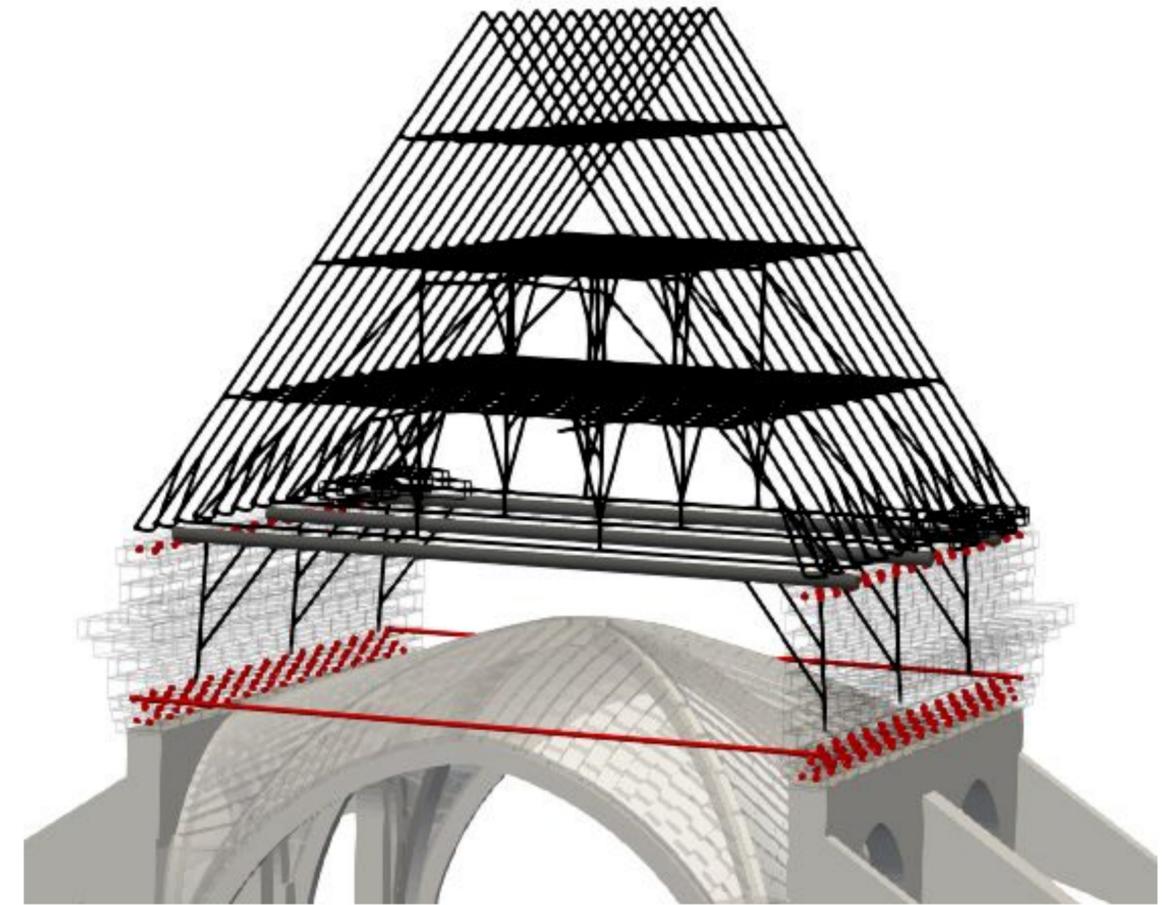


Champs (déplacements, contraintes, etc)

Indicateurs, critères, etc

Amélioration du modèle, connaissance, etc

# Évaluation structurale



- structure pierre : voute, arc boutant, etc
- role des agrafes
- charpente
- interaction charpente maçonnerie

# Évaluation structurale

## Quelques difficultés:

- Mise en données complexes : géométrie, matériaux, etc
- État initial réaliste : avant incendie + effet incendie
- Post-traitement : extraction de données pertinentes pour MOE/MOA
- Capitalisation de la démarche/des résultats/des modèles pour recherche reproductible
  - quels outils : thésaurus, ontologie, logiciels, informatique, etc
- Valorisation : quels outils pour parler au plus grand nombre (VR ?)

# Enjeux de documentation des processus de production, d'analyse et interprétation des données

## Question 2 :

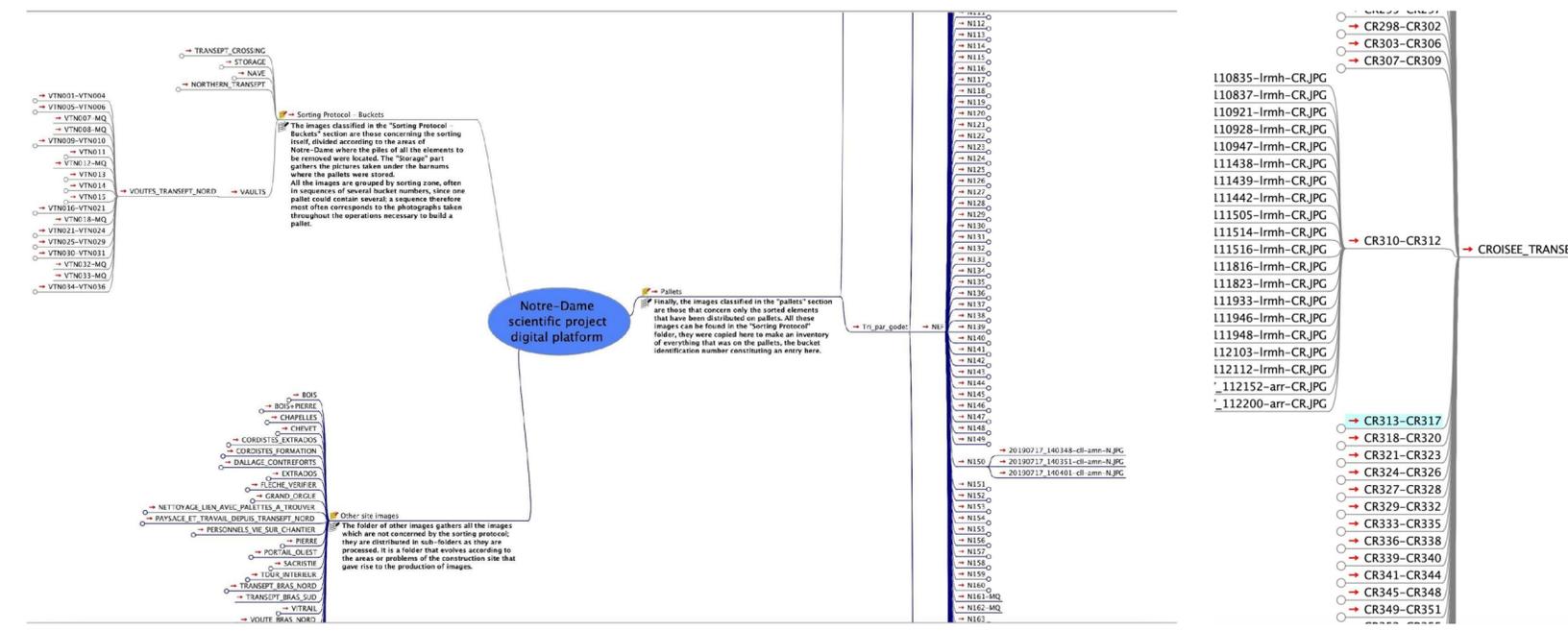
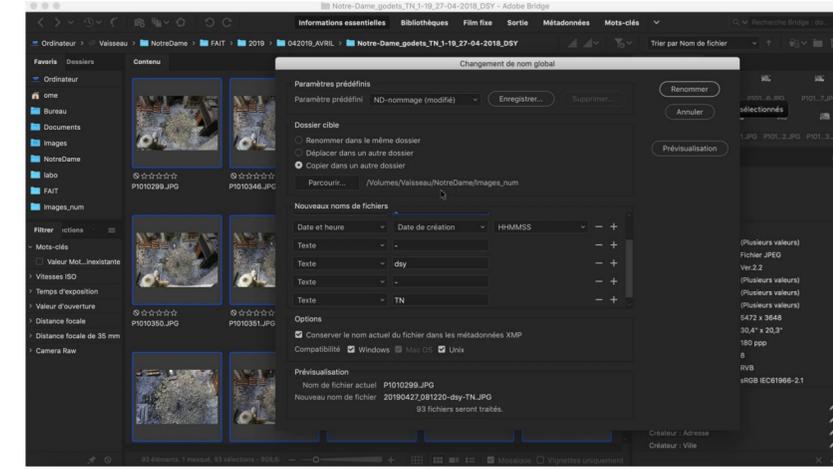
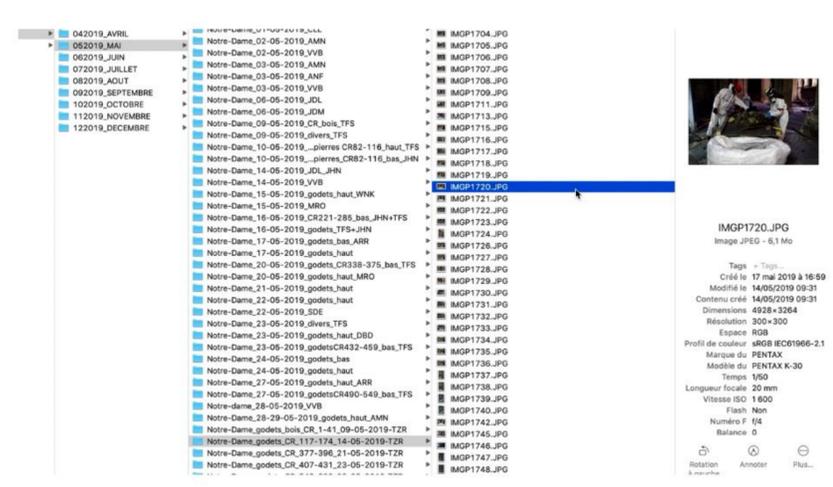
- Pourriez-vous décrire des chaînes opératoires, c'est-à-dire des processus de production de connaissances, auxquelles vous avez participées ?
- Quels ont été les moments marquants dans ces processus pour la structuration d'une connaissance renouvelée ?

# O. Malavergne : La chaîne documentaire

## Processus de traitement documentaire des images

Processus documentaire *ad hoc* pour répondre aux urgences du chantier de tri *workflow* du traitement des images à partir du protocole de prises de vue

- Organisation d'une arborescence structurée
- Constitution des dossiers de photos
- Règles pour le nommage des fichiers
- Ventilation des images dans les dossiers ad hoc
- Création d'un plan de classement

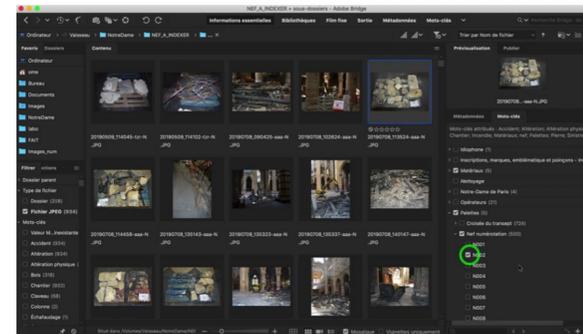
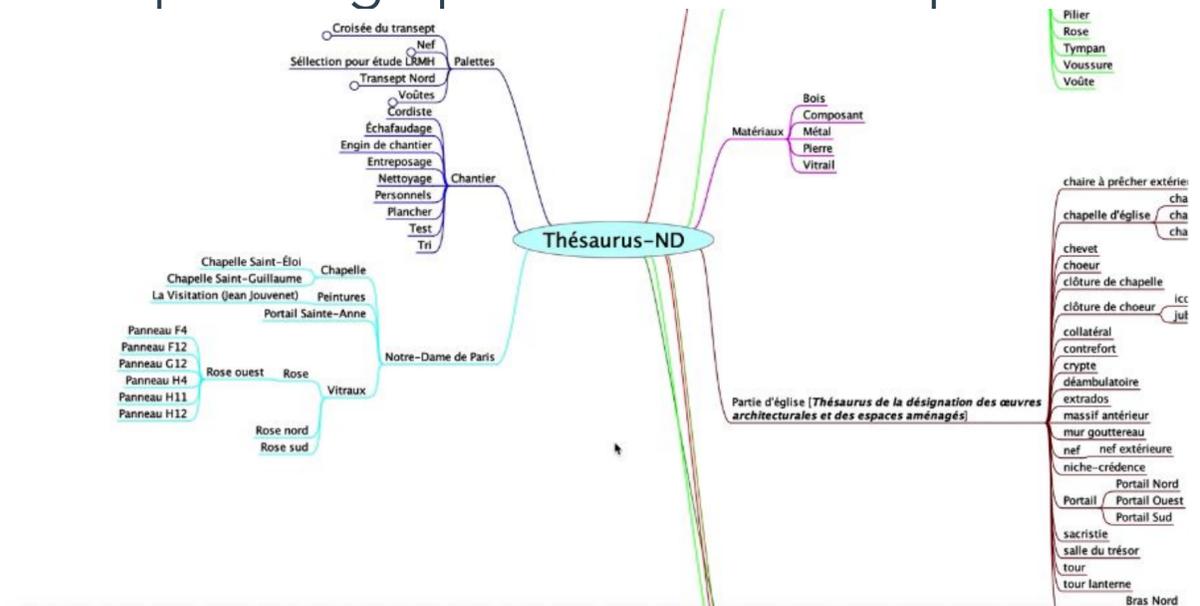


# O. Malavergne : La chaîne documentaire

## Processus de traitement documentaire des images

Procédé pour indexer les images en combinant données exif et métadonnées, en s'appuyant sur des vocabulaires contrôlés et la création d'un script d'extraction des informations de chaque image pour les rendre exploitables

- Utilisation de vocabulaires contrôlés/création d'un micro-thesaurus Notre-Dame
- Indexation des images

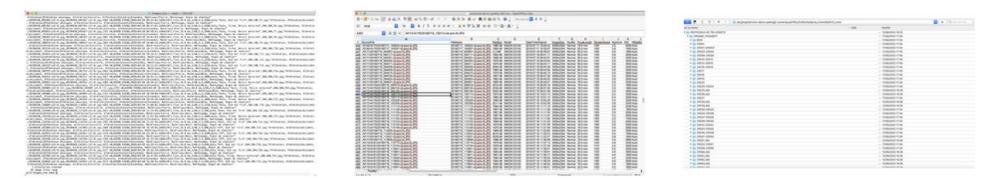


## Préparation des images pour la plateforme numérique

- Extraction des métadonnées
- Production du fichier de sortie en format `csv`
- Dépôt des images dans l'espace Huma-Num Box

Comment produire un fichier regroupant toutes les informations autour des images récoltées :

- > Renommage des fichiers à partir des règles retenues, notamment la zone d'intervention, l'opérateur, la date, cette dernière issue de l'horodatage propre à chaque prise de vue
- > Balisage des images à l'aide de mots-clefs
- > Extraction des informations liées aux images à l'aide d'un script *exiftool* compilant les données exif de l'appareil de prise de vue et les métadonnées associées
- > Production d'un fichier csv avec toutes ces informations mais aussi les données techniques de la prise de vue, l'ancien nom de fichier préservé etc.
- > Versement des fichiers image par lots ainsi que le fichier csv correspondant à chaque lot dans l'espace HumaNum Box dédié, en vue d'être moissonné par les outils de l'écosystème numérique, notamment Archéogrid



Approche archéologique sur les pierres de l'arc effondré et sur les voûtes en place pour mieux comprendre et dater les voûtes du haut vaisseau



© C. Moulis

Travail sous les barnums (automne 2020)

Rapport Claveaux GT Pierre - novembre 2020

### Fiche descriptive Bloc

<b>Site</b> Cathédrale Notre-Dame, Paris		<b>Structure</b> doubleau entre les travées 1 et 2 de la nef		<b>N° d'inventaire</b> N 1b		<b>Lieu de conservation</b> MOE 76 - rack 17	
<b>Fonction de la pierre</b>		<b>Nature</b>		<b>Aspect</b>		<b>Géologie &amp; Site possible</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> Claveau <input type="checkbox"/> Clef <input type="checkbox"/> Sommier <input type="checkbox"/> Voutain <input type="checkbox"/> Chapiteau <input type="checkbox"/> Autre :		<input checked="" type="checkbox"/> Calcaire <input type="checkbox"/> Grès <input type="checkbox"/> Granite <input type="checkbox"/> Schiste <input type="checkbox"/> Marbre <input type="checkbox"/> Autre :		Couleur de la pierre : <input type="text"/> Grain : <input type="text"/> épidémie : <input type="text"/> entaille : <input type="text"/> blanc-beige Inclusions notaires : <input type="checkbox"/> Silex <input type="checkbox"/> Galets <input type="checkbox"/> Fossiles <input type="checkbox"/> Autres :		<input type="checkbox"/> Lutétien sup. <input type="checkbox"/> Lutétien moy. <input type="checkbox"/> Val-de-Grâce <input type="checkbox"/> Cochin <input type="checkbox"/> Charanton <input type="checkbox"/> Chaillot <input type="checkbox"/> Saint-Maur <input type="checkbox"/> Saint-Denis	
<b>Métrie</b>		<b>Traces de taille</b>		<b>Scellement</b>			
longueur : 47 cm largeur : 34,5 cm hauteur int. : 17,4 cm hauteur ext. : 17,7 cm courbure :		Equarrissement : <input type="checkbox"/> Chasse <input type="checkbox"/> Pic <input type="checkbox"/> Tête <input type="checkbox"/> Polka Dégrossissage : <input type="checkbox"/> Pic <input type="checkbox"/> Broche <input type="checkbox"/> Ciseau (ciselure) <input type="checkbox"/> larg.		Finition : <input type="checkbox"/> Lait <input type="checkbox"/> Bretteuse <input type="checkbox"/> Gradine <input type="checkbox"/> Grain d'orge <input type="checkbox"/> Boucharde <input type="checkbox"/> Ripe <input checked="" type="checkbox"/> oblique <input type="checkbox"/> croisée <input type="checkbox"/> chevron <input type="checkbox"/> gerbe <input type="checkbox"/> écaillée <input checked="" type="checkbox"/> parallèle Orientation : <input type="text"/> Impacts : <input type="text"/>		longueur : 8 cm largeur : 12-15 mm nb de dents : > 11 largeur dents : 4 mm latéralité : droite	
<b>Signe lapidaire</b>		<b>Levage</b>		<b>Pose</b>		<b>Scellement</b>	
<input type="checkbox"/> Marque de tailleur / d'atelier <input type="checkbox"/> Marque de montage <input checked="" type="checkbox"/> Marque de pose <input type="checkbox"/> Marque de hauteur d'assise <input type="checkbox"/> Graffiti <input type="checkbox"/> Epure <input type="checkbox"/> Indéterminé		<input type="checkbox"/> Trous de pince <input type="checkbox"/> Trou de louve <input type="checkbox"/> Tenons <input type="checkbox"/> Sans trace		<input type="checkbox"/> Délit <input type="checkbox"/> Stigmates de pose		<input type="checkbox"/> Trou d'agrafe <input type="checkbox"/> Trou de goujon <input type="checkbox"/> Abreuveur <input type="checkbox"/> Mortier	
<b>Liant associé</b>		<b>Photo</b>					
Nature : <input type="checkbox"/> Mortier <input type="checkbox"/> Ciment <input type="checkbox"/> Joint sec <input type="checkbox"/> Autre :							
Couleur : <input type="text"/> Granulométrie : <input type="text"/> Pulvérulence : <input type="text"/>							
<b>Enduit initial</b>		<b>Décor sculpté</b>					
<input checked="" type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Oui Composition : <input type="checkbox"/> Sable <input type="checkbox"/> Argile <input type="checkbox"/> Chaux <input type="checkbox"/> Charbon <input type="checkbox"/> Galet <input type="checkbox"/> Végétal <input type="checkbox"/> Terre cuite <input type="checkbox"/> Éclat de pierre <input type="checkbox"/> Incl. métalliques <input type="checkbox"/> Autre :		<input type="checkbox"/> Feuille d'acanthe <input type="checkbox"/> Grottesque <input type="checkbox"/> Crochet <input type="checkbox"/> Animalier <input type="checkbox"/> Scène historique <input type="checkbox"/> Héraldique <input checked="" type="checkbox"/> Autre : méplat central, tore					
<b>Remploi</b>		<b>Ragréage</b>					
<input checked="" type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Oui, fonction primaire <input type="checkbox"/> fonction secondaire		<input type="checkbox"/> Non <input checked="" type="checkbox"/> enduit : rubané rouge <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> outil :					
<b>Observations</b>							
Décor rubané rouge ajouté lors de restaurations le long de l'extrados et dans les gorges entre les tores et le méplat central. Surface visible traitée à la gradine et bretteuse en frappe perpendiculaire; surface enfouie dans la maçonnerie traitée à la bretteuse. Réalisation de la croix à la bretteuse. Une branche a été mal réalisée, les coups d'outils n'étant pas alignés.							
Date de rédaction : 17 septembre 2020		Rédacteur(s) : Cédric Moulis, Bruno Phalip					

Fiche GT pierre

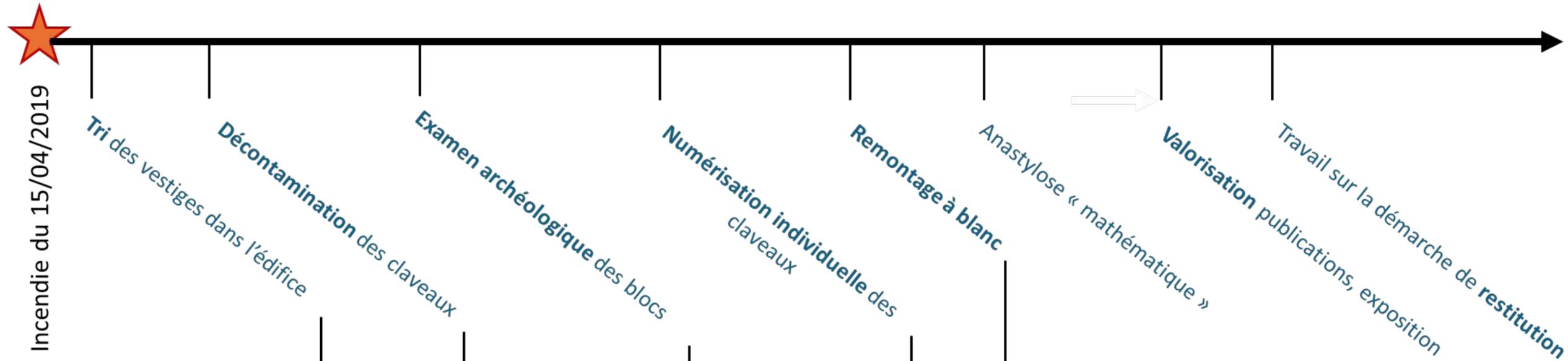


© E. Baillieul



© E. Baillieul

Observation directe des voûtes du chœur (en haut) et de la nef (en bas) au moment de la réfection des joints



**Quelques temps forts du remontage à blanc qui illustrent le tâtonnement de la démarche :**

- un critère initial replacement, la dimension des blocs / incertitude de l'emplacement des joints sur le nuage de points + incertitude du tracé sur la bâche (un seul trait)
  - Où prendre les mesures?
  - Comment noter les mesures?
  - Sur quel trait aligner les claveaux?
  - Comment est orientée la bâche?
- Présence des encoches à l'extrados / possibilité d'observer leur répartition dans l'édifice seulement en février 2021
  - Réparties à intervalle régulier?
  - Suivant quelle unité de mesure?
  - Toujours partielles?
- Orientation de la croix de marquage / prise de vue par un tailleur de pierre-cordiste en novembre 2020
  - Face de pose?
  - Face d'attente?

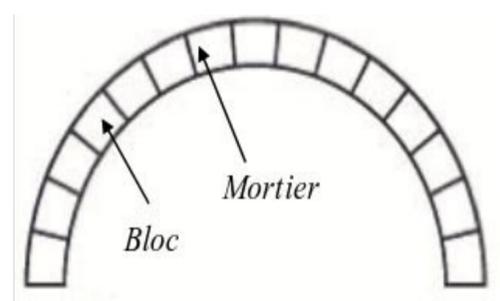


# Production de connaissance

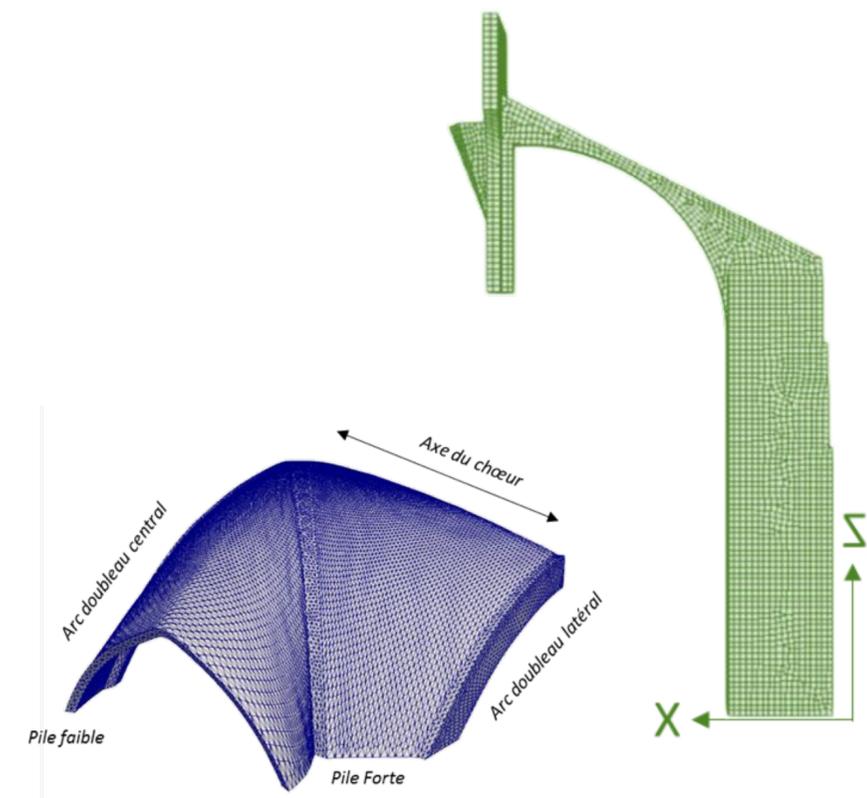
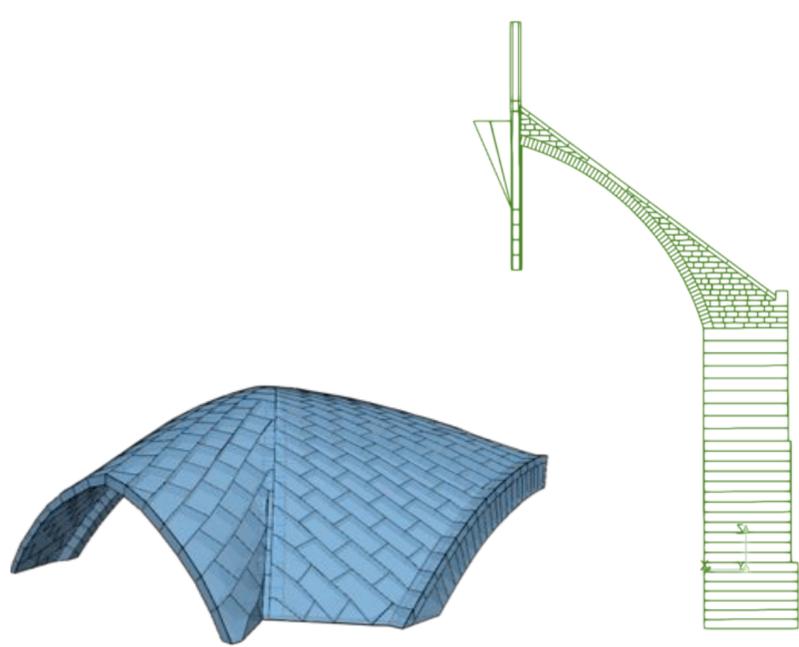
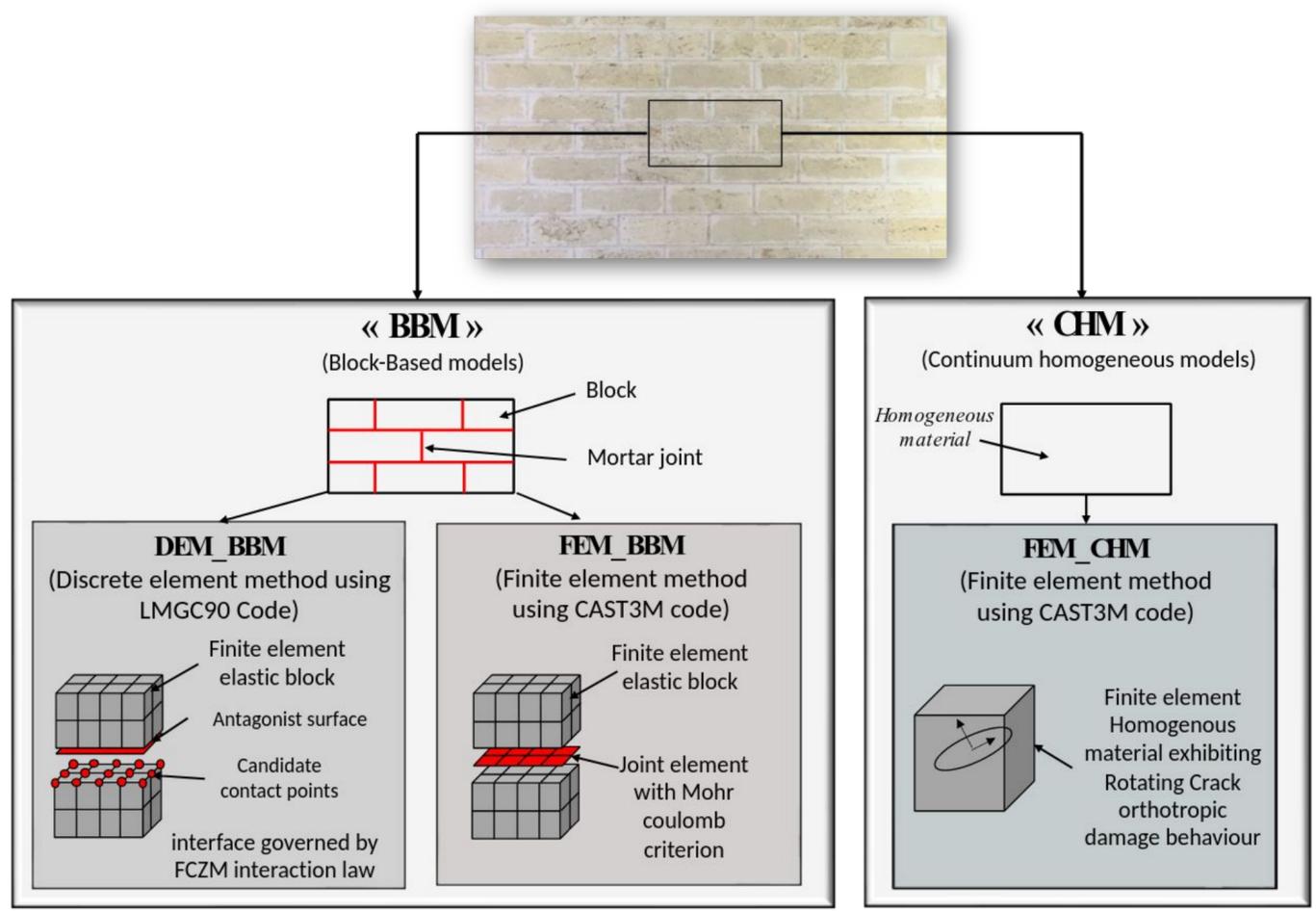
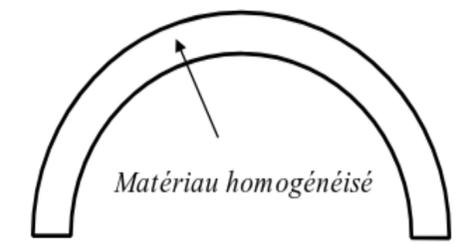
- Comment se convaincre qu'on donne une information pertinente ?

Utiliser plusieurs modèles

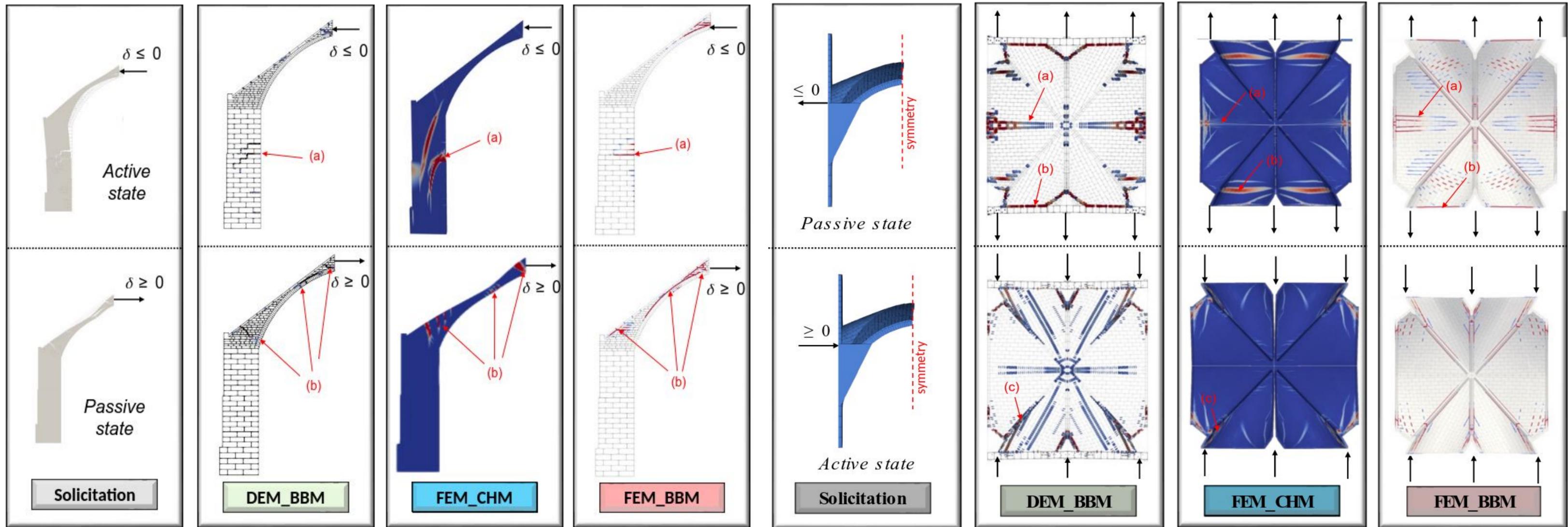
Modèle bloc à bloc



Modèle continu



# Production de connaissance



- Comment comparer les résultats des modèles entre eux et avec les relevés expérimentaux ?
- Comment annoter ?
- Comment croiser avec d'autres études ?
- Comment conserver les modèles ? comparer les modèles ?

# Enjeux de documentation des processus de production, d'analyse et interprétation des données

## Question 3 :

- Quel est le rôle des données et des différentes représentations (simulation, modèle, etc.) dans la formalisation de la connaissance de votre objet d'étude et la pratique disciplinaire?
- La relation entre objets matériels et modèles, données, simulations génère la production de nouvelles connaissances et la compréhension d'un aspect scientifique.

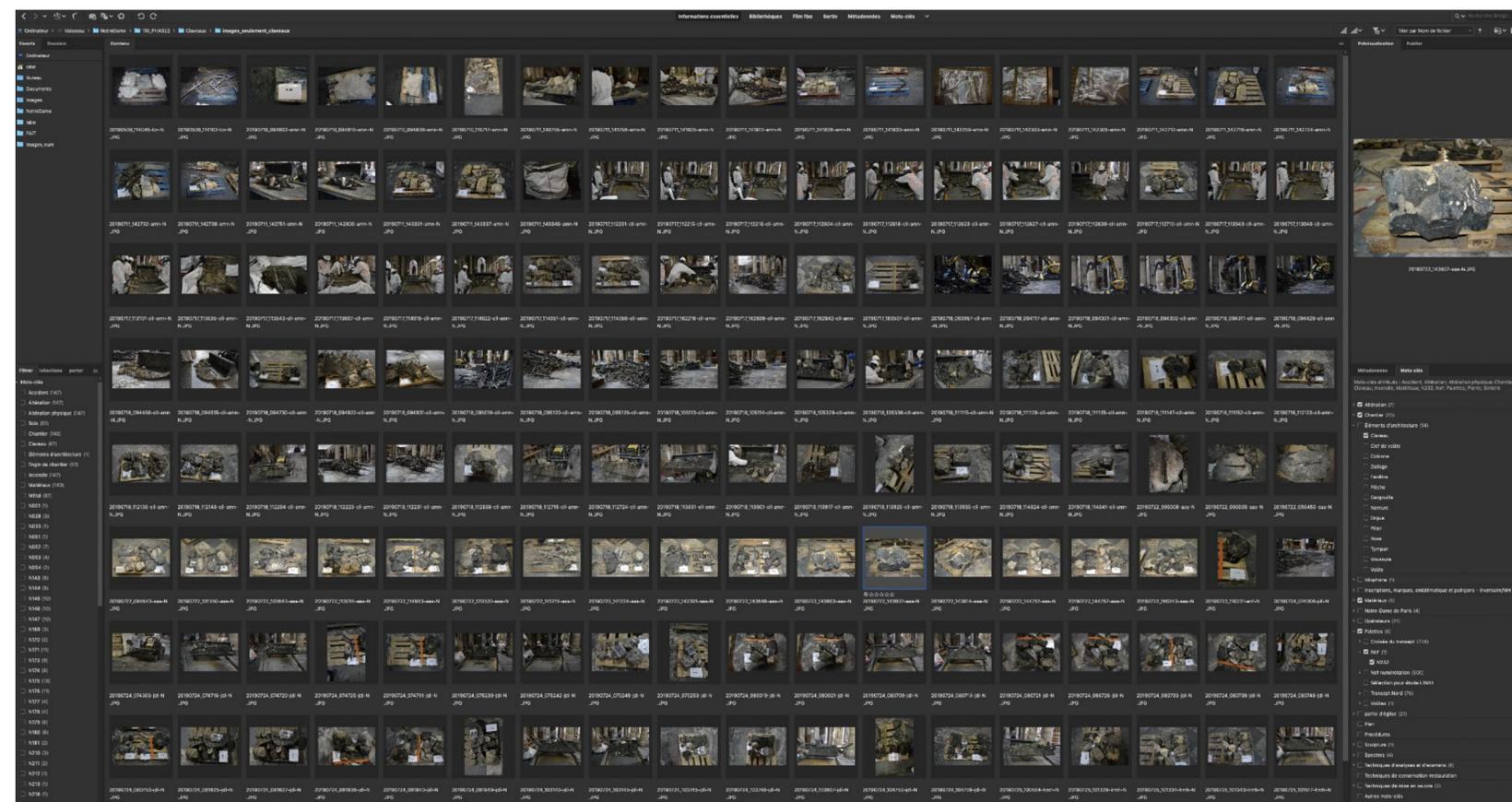
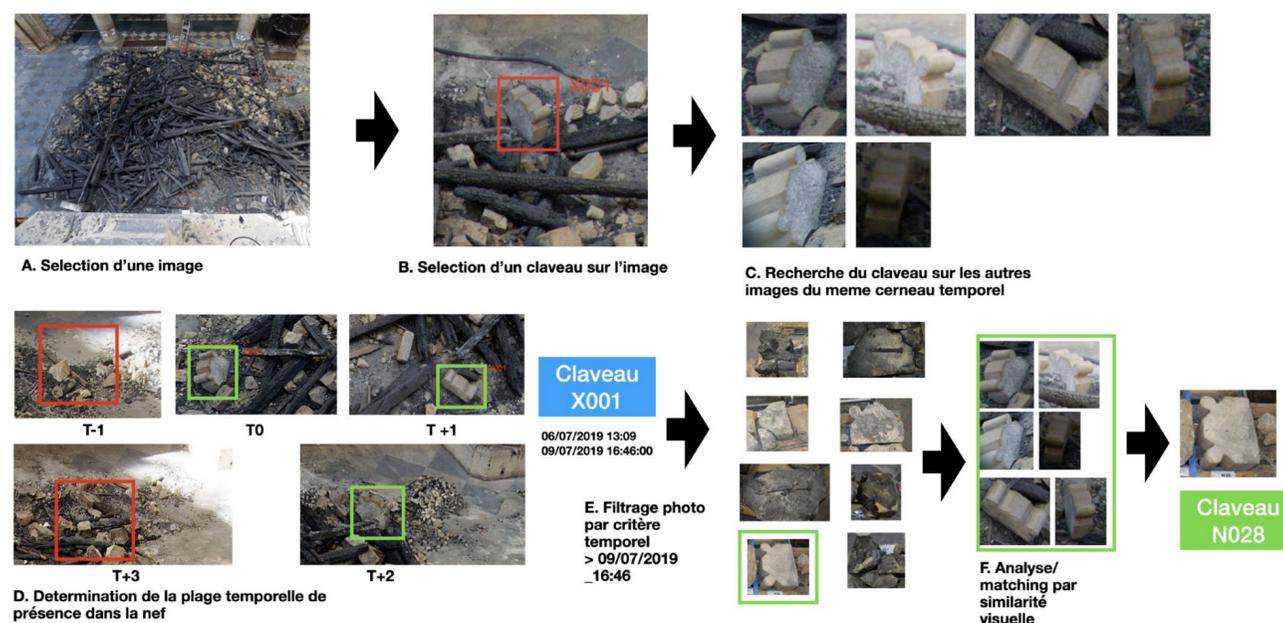


# O. Malavergne : Intégration et exploitation des jeux de données

L'indexation comme outil de repérage dans les images

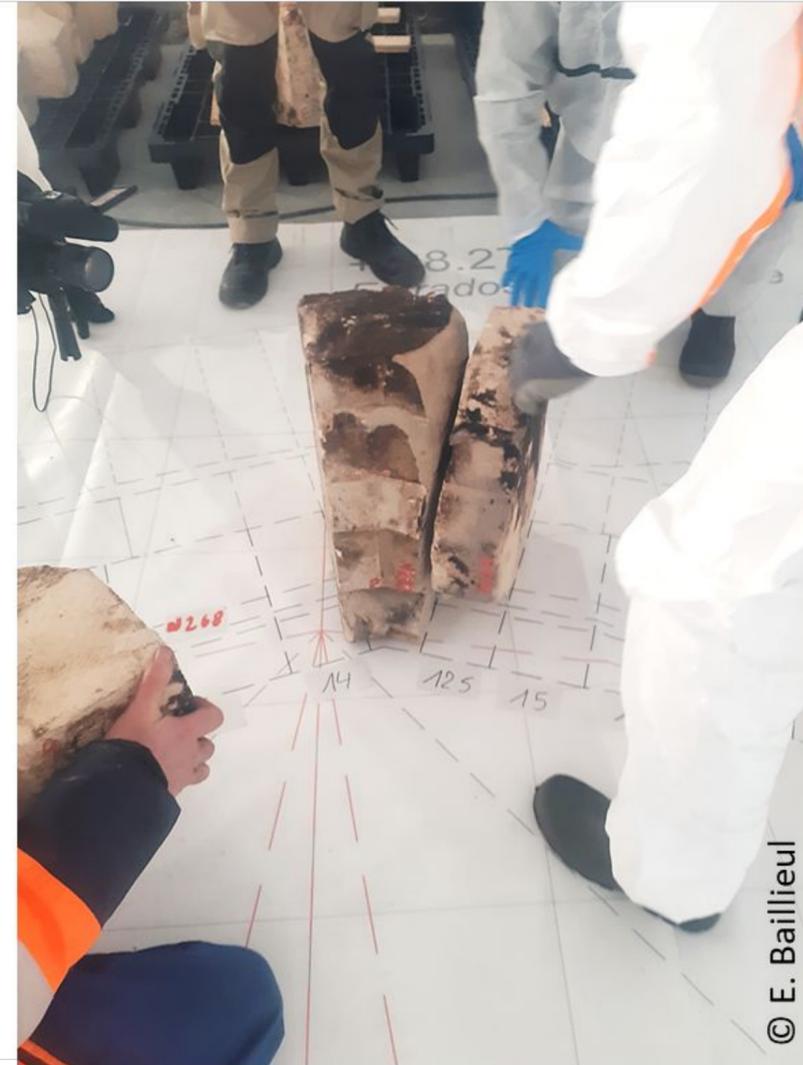
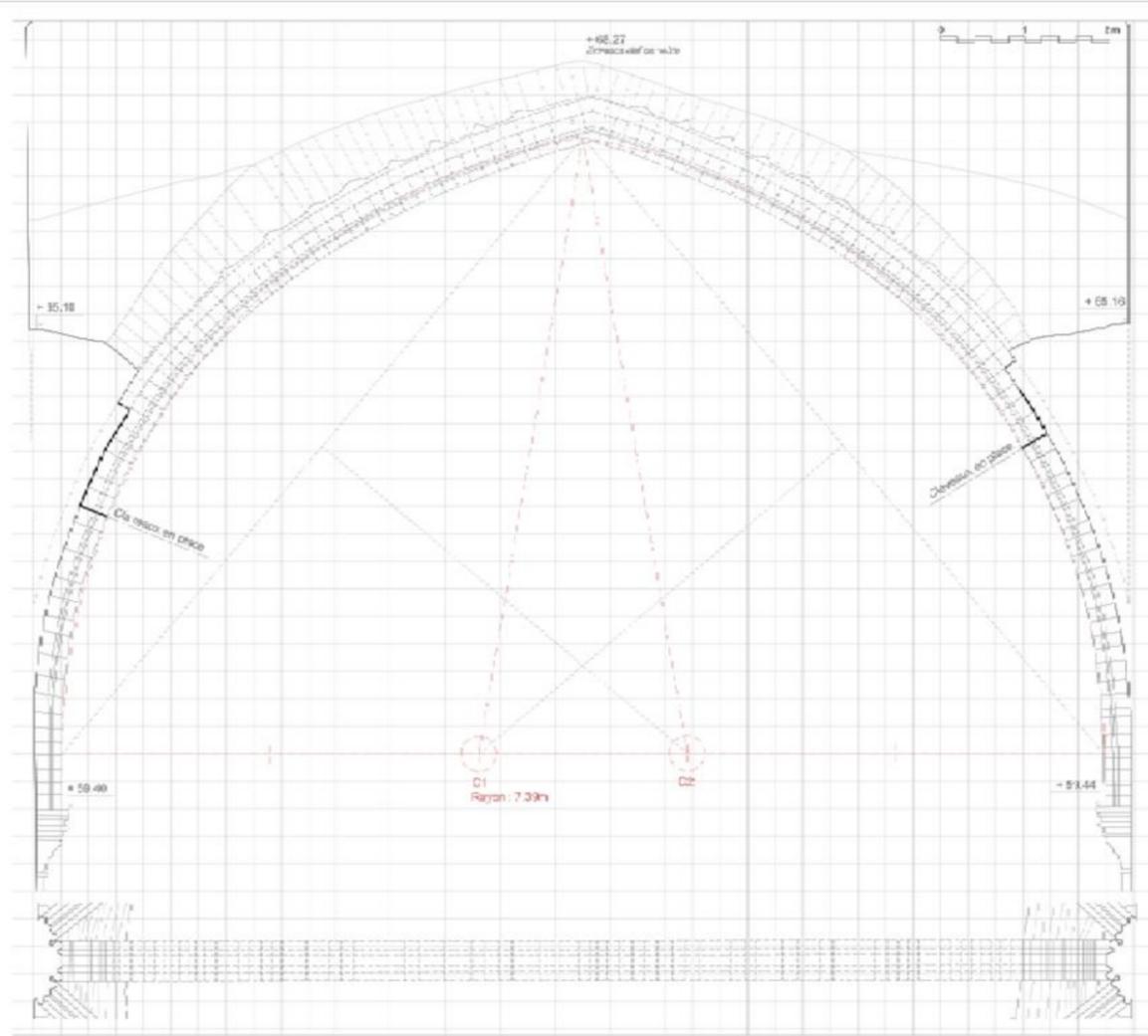
## Repérage spatio-temporel des claveaux : préfiguration du projet *Repérage* avec l'indexation des images et la recherche des claveaux

Le déblaiement des vestiges a été mené avec une approche raisonnée et une documentation par des prises de vues photographiques ; plus de 50 000 clichés ont été produits (LRMH, C2RMF, SRA d'Ile-de-France,...). L'idée sous-jacente était de documenter au mieux le processus, en témoignant des états successifs d'une opération menée comme une fouille archéologique, afin de garantir la possibilité d'une localisation des éléments au sol et, à terme, de les repositionner si possible à leur emplacement d'origine, réellement ou virtuellement.



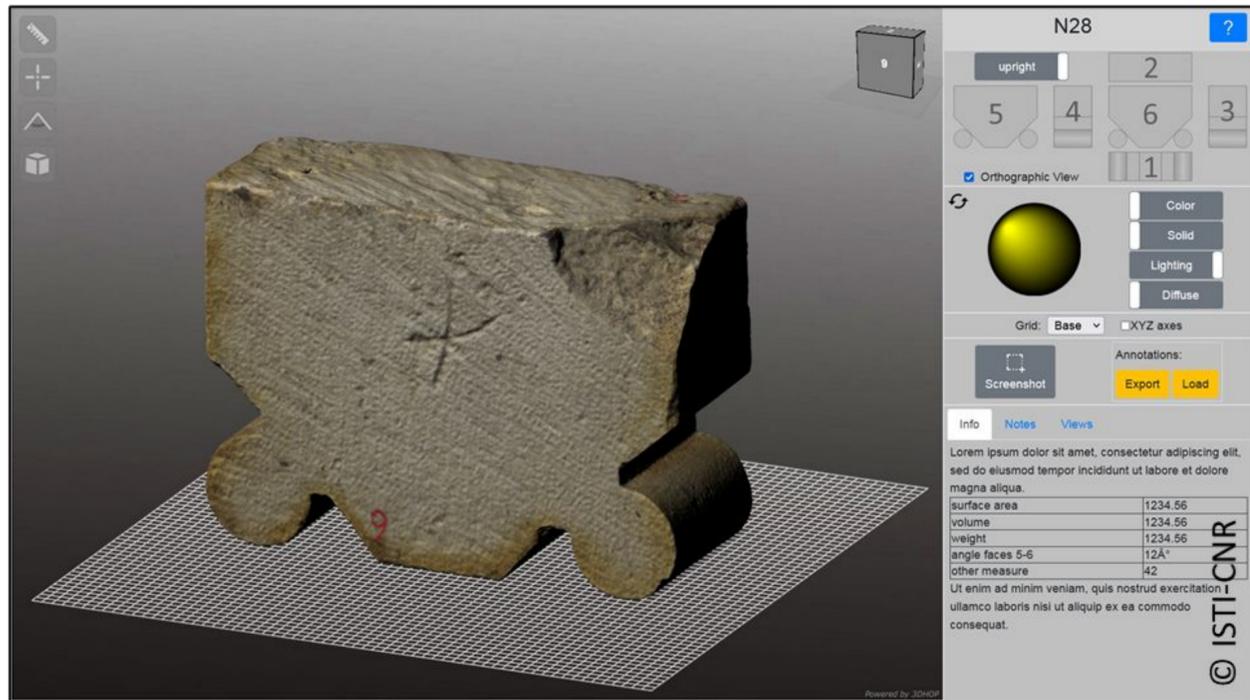
Le projet REPÉRAGE contribue aux apports scientifiques du chantier Notre-Dame, en harmonie avec les recherches menées par ailleurs (archéologie du bâti, modélisation structurelle), ainsi qu'à la restauration de l'édifice, et en particulier de la reconstruction des voûtes. Il propose une méthode de suivi des éléments d'un édifice ou d'un objet patrimonial ayant subi une destruction en phase avec les pratiques actuelles de documentation d'un chantier de sauvetage post-catastrophe. Aujourd'hui, le traitement massif des données photographiques est un enjeu primordial pour la restauration et la conservation.

### Utilisation de données 3D existantes



Dessin à partir duquel la bâche du remontage à blanc a été imprimée

Utilisation de modèles 3D *ad hoc*, manipulables dans un viewer « sur mesure »



Visionneuse claveaux 3D :

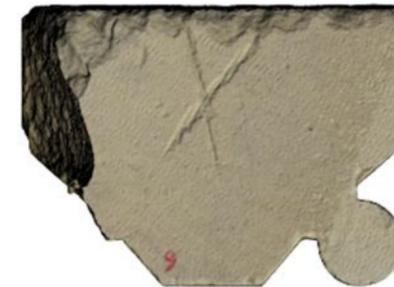
<https://vcg.isti.cnr.it/~callieri/notredame/>



Face 2 EXTRADOS



Face 4



Face 6 Face de joint avec marque lapidaire



Face 3

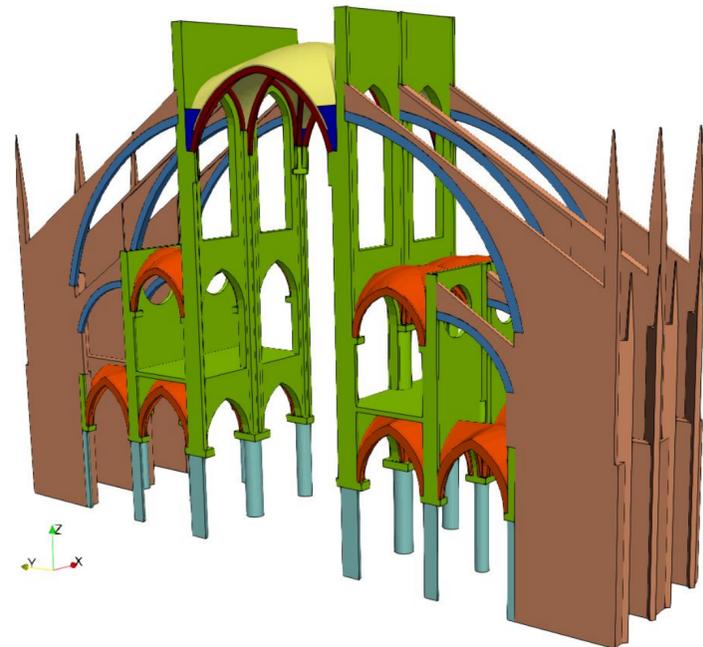
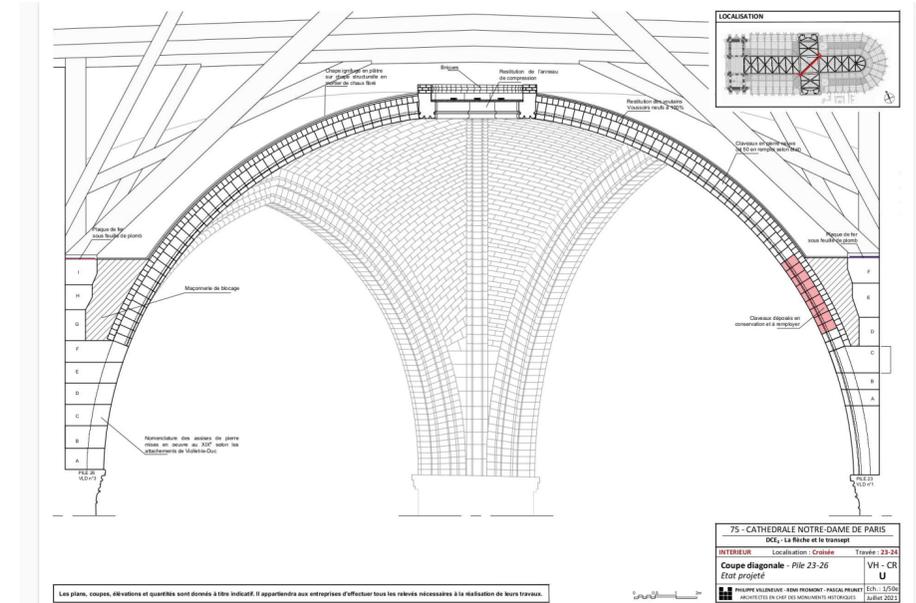
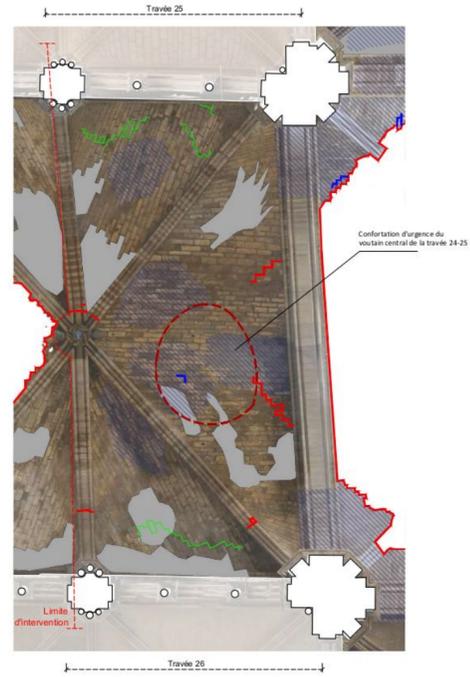


Face 1 INTRADOS



Face 5 Face de joint

# Données, représentation, ... le diable est dans les détails

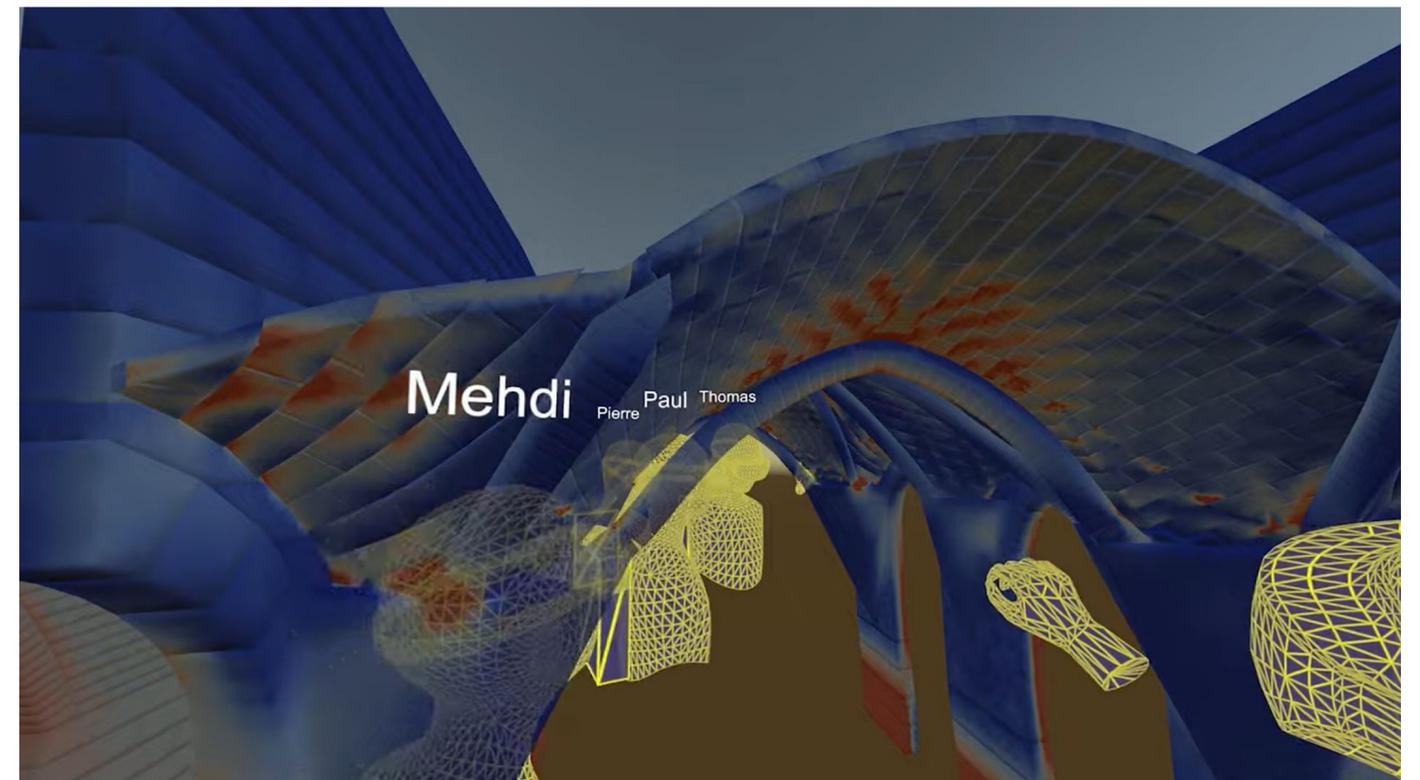
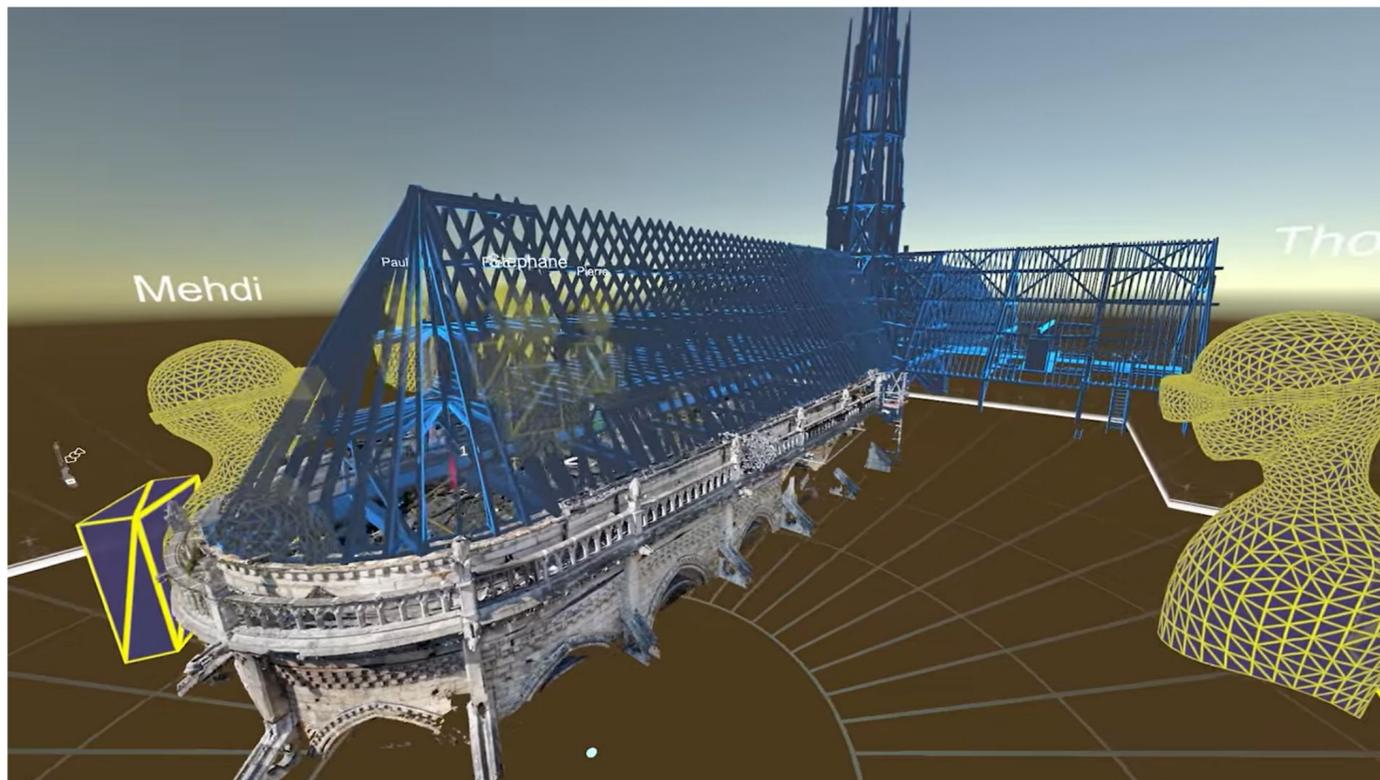


- arcs
- culées
- piliers
- quadrupartites
- gouttereaux
- nervures
- sexpartite
- remplissages

# Données, représentation, ... le diable est dans les détails

Pour s'y retrouver

- Les visites, les discussions, etc
- La VR de 3DS
- Un vocabulaire commun



# Enjeux de documentation des processus de production, d'analyse et interprétation des données

## Questions/thématiques complémentaires : collaborations et GTs

- Quelle(s) donnée(s)/ information(s) sont nécessaires dans la collaboration avec d'autres chercheurs/groupes de travail?
- Recherche individuelle et recherche collective (GTs, groupes, ...), rapport avec le GT numérique
- Avez-vous des exemples de données/jeux de données viennent d'une source extérieure à votre propre groupe de travail? Quel impact de la réutilisation/changement de contexte d'utilisation des données?

# Enjeux de documentation des processus de production, d'analyse et interprétation des données

## Questions/thématiques complémentaires : ce qui n'a pas marché

- Sortir de la technique numérique et/ou de l'informatique pour créer un écosystème où tout le monde s'y retrouve
- Vocabulaires et jargons, spécialisations et expertises
- ...

# Enjeux de documentation des processus de production, d'analyse et interprétation des données

## Merci à tous pour votre participation !

Remerciements :

- ERC n-Dame\_Heritage (Grant agreement ID: 101055423) funded by ERC-2021-ADG
- project REPERAGE funded by the Fondation des Sciences du Patrimoine (ANR-17-EURE-0021)